

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP0418048

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 29 SEP 2004  
WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 34 902.2

Anmeldetag: 29. Juli 2003

Anmelder/Inhaber: NUTRONIK GmbH, 63755 Alzenau/DE

Bezeichnung: Verfahren und Schaltungsanordnung zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden

IPC: G 01 N 29/024

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. August 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

Höß

BEST AVAILABLE COPY

NUTRONIK GmbH  
Industriegebiet Süd E11

63755 Alzenau

5

### Beschreibung

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verarbeitung von Signalen gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 1 sowie auf eine Schaltungsanordnung mit 15 Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 9.

Ein Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die reflektierten Wellen entsprechen, die von einer Struktur übertragen oder gebrochen wurden, um eine Erkundung und Analyse der Struktur dieses Materials vornehmen zu können, ist in der EP 0 825 453 B1 beschrieben. Bei dem beschriebenen Verfahren wird ausgenutzt, dass jeder Punkt eines zu überprüfenden Gegenstandes zu einer reflektierten Welle führt, die sodann an Positionen der Speicher gespeichert wird, die in Form von Parabelbögen verteilt sind, deren Charakteristiken von der Entfernung des Punktes zur Sonde und vom Strahlungsdiagramm jedes Elementes abhängen. Bei dem bekannten Verfahren wird ein Prüfkopf verwendet, der linear ausgebildet ist und sich aus einer Mehrzahl von Sende-Empfangselementen mit geringen Abmessungen zusammensetzt. Der gleiche Prüfkopf wird dabei zum Senden und Empfangen

verwendet. Zunächst wird eine Wellenfront in den zu prüfenden Gegenstand abgesendet und diejenigen Wellen empfangen, die von der Struktur reflektiert werden.

Anschließend erfolgt eine Digitalisierung und Speicherung der Information, die von den

5 Sensorelementen abgegeben werden, und zwar in einem Speicherelement, welches für jedes Sensorelement eine Zeile aufweist.

Anschließend erfolgt eine Rekonstruktion und/oder Analyse der Struktur des Gegenstandes anhand der Informationen, die in den Speicherelementen abgelegt wurden. Dabei wird für

10 jeden Punkt des Gegenstandes die Position des Speicherelementes berechnet, die die Signale enthalten, die von den Sensorelementen geortet worden sind und den Wellen entsprechen, die von diesen diesen Punkt reflektiert oder übertragen worden sind. Diese Position wird mit Hilfe eines Adressierungsgesetzes berechnet, dessen Parameter von der Position dieses Punktes im Verhältnis zu den Sensorelementen abhängen. Ferner werden für jeden  
15 Punkt die Zeilen des Feldspeichers an den jeweiligen Positionen gelesen, die zuvor für diesen Punkt berechnet worden sind, wobei auf die für diesen Punkt gelesenen Werte eine mathematische Operation angewendet wird, um ein Ergebnis zu erhalten, das für den Umfang der Welle repräsentativ ist. Für die Berechnung werden alle Zellen des Speicherfeldes parallel für diesen Punkt an den Positionen gelesen, die für diesen Punkt in den jeweiligen  
20 zugeordneten Adressierungsspeichern angegeben sind.

Da die Berechnung jedes Lesegesetzes zum Auslesen des Speichers zu lange dauern würde, um dies in Echtzeit auszuführen, erfolgt diese Berechnung im Voraus und die Ergebnisse werden in spezifischen „Adressenspeichern“ gespeichert, die jeder Zeile des „Feldspeichers“ zugeordnet sind.

Daraus folgt, dass das beschriebene Verfahren nur zur Erkennung bestimmter, d. h. vorher definierte Strukturen geeignet ist. Der Inhalt des Feldspeichers wird nach Ausführung der mathematischen Operation in einen Bildspeicher hinterlegt, wobei Orts- und Laufzeitin-

30 formationen berücksichtigt werden. Bei dem Verfahren werden berechnete B-Bilder ausgewertet, wie dies beispielsweise in der medizinischen Diagnostik üblich ist. Für die automatische Werkstoffprüfung sollten B-Bilder jedoch nicht herangezogen werden, da für die Auswertung lange Auswertezeiten benötigt werden.

Des Weiteren ist zu bemerken, dass bei senkrechter Einschallung Einschränkungen in der Fehlerdetektion gegeben sind, da nur eine Fehlerlage erkennbar ist. Ferner treten Unsicherheiten in der Fehlerauswertung auf, da feste geometrische Beziehungen zwischen dem Prüfkopf und dem Prüfling vorausgesetzt werden, da Ortsinformationen bei der Fehlerbestimmung notwendig sind. Daher ist das bekannte Verfahren gegen übliche Dejustagen des Prüfkopfes sehr empfindlich.

Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung der bekannten Art dahingehend weiterzubilden, dass Fehlerstellen der Struktur eines Gegenstandes bei hoher Geschwindigkeit und einem verbesserten Signal-/Rauschverhältnis erfasst werden können. Ferner soll das Verfahren gegen mögliche Dejustagen des Prüfkopfes unempfindlich sein.

Das Verfahren wird erfindungsgemäß u. a. durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Dabei ist vorgesehen, dass eine Fehlstelle durch ein phasenstarres Addieren der zu gleichen Laufzeiten empfangenen gespeicherten Amplitudenwerte ermittelt wird. Hierbei wird ausgenutzt, dass bei Bestrahlung eines Gegenstandes mittels eines als Phased Array Transducer ausgebildeten Prüfkopfes, d. h. bei Absendung einer kompletten Wellenfront, Echos in jedem der gleichzeitig auf Empfang geschalteten Empfangselemente des Prüfkopfes empfangen werden, wobei die Amplitudenwerte der empfangenen Echos zu denselben Laufzeiten empfangen werden. Hierdurch eröffnet sich die Möglichkeit, die Amplitudenwerte der empfangenen Signale längs einer Laufzeit zu addieren, mit dem Vorteil, dass die Fehlstelle in der Struktur kennzeichnenden Amplitudenmaxima verstärkt und sich die weiteren durch die einzelnen Empfangselemente empfangenen Signale gegenseitig nahezu aufheben.

Dadurch zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren einerseits durch eine sehr hohe Geschwindigkeit der Fehlererkennung aus, da aufgrund der Aussendung einer kompletten Wellenfront die aus dem Stand der Technik übliche sequenzielle Methode vermieden wird und andererseits ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Signalrauschverhältnis

erreicht wird. Das Verfahren ist auch robust gegen beispielsweise eine Dejustage des Prüfkopfes, da Ortsinformationen nicht in das Verfahren einfließen.

Zur Erkennung von auf einer äußerer Oberfläche des Gegenstandes liegenden Fehlstellen

5 (Außenfehler), insbesondere bei der zerstörungsfreien Prüfung von Rohren mittels Ultraschall, erfolgt eine Auswertung von Punktwellensignalen, welche von Reflexionen an Außenfehlern des Gegenstandes ausgehen. Dabei erfolgt eine Addition der in dem Speicher hinterlegten Amplitudenwerte längs ein und derselben Laufzeit, sondern in einer Richtung, die senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht zu Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte der Punktwellen der Außenfehler AF verläuft.

Durch die phasenstarre Addition der Amplitudenwerte längs einer Laufzeit können Fehlstellen allgemein erkannt werden, wobei jedoch eine Aussage darüber, ob es sich um einen Außenfehler oder einen Innenfehler handelt, aus dem Summensignal nicht ableitbar sind.

15 Wie zuvor erläutert, können Außenfehler dadurch erkannt werden, indem eine Addition von Amplitudenwerten senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht zu Interferenzmustern der von dem Außenfehler ausgehenden Punktwellen erfolgt. Durch eine Koinzidenzschaltung erfolgt schließlich ein Vergleich des bei der phasenstarren Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit ermittelten Signals mit dem bei der Addition der Amplitudenwerte der Interferenzmuster ermittelten Signal, wobei ein Außenfehler vorliegt, wenn beide Signale eine Fehlstelle anzeigen.

Zur Einstellung eines an die Messbedingungen, wie beispielsweise Fehlerart (Längsfehler, Schrägfehler), Materialbeschaffenheit sowie der Form des zu prüfenden Gegenstandes angepassten Einstrahlwinkels  $\alpha$  können die einzelnen Sendeelemente des Phased Array

25 Transducers zeitverzögert angesteuert werden (Phasing). Bei der Prüfung beispielsweise eines Rohres kann eine Einschallung in Abhängigkeit einer Fehlerlage (Schrägfehler, Längsfehler) wahlweise in Längsrichtung oder in Umfangsrichtung erfolgen.

30 Des Weiteren ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Fehlerortes eine laufzeitabhängige Amplitudenkorrektur des bei der Addition ermittelten Summensignals durchgeführt wird, wobei das empfangene Summensignal mit einem Referenzwert verglichen wird.

Zur weiteren Datenreduktion ist vorgesehen, dass die empfangenen Signale unmittelbar nach der Digitalisierung gefiltert werden vorzugsweise mittels eines Wavelet-Filters.

Das Problem wird durch eine Schaltungsanordnung gemäß den Merkmalen des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 9 gelöst, wobei ein Summierer zur phasenstarren Addition der in dem Speicherbaustein hinterlegten Amplitudenwerte vorgesehen ist.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination –, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiels.

Es zeigen:

15                    Fig. 1                    eine schematische Darstellung einer von einem Prüfkopf (Phased Array Transducer) ausgehenden Wellenfront durch ein Medium wie Wasser auf einen zu prüfenden Gegenstand wie Stahlplatte,

20                    Fig. 2                    eine Darstellung von Amplitudenwerten der von den einzelnen Empfangselementen EL1-ELN eines Prüfkopfes empfangener Amplituden mit unterschiedlichen Laufzeiten (typischer B-Scan),

25                    Fig. 3                    eine Darstellung ausgewählter Strahlenwege der Ultraschallwellenfront gemäß Fig. 1,

30                    Fig. 4                    eine Darstellung des Amplitudenverlaufs über die Laufzeit eines einzelnen Empfangselementes ELX gemäß Fig. 2,

                         Fig. 5                    eine Darstellung des Amplitudenverlaufs der Summen laufzeitgleicher Amplitudenwerte verschiedener Empfangselemente zur Auswertung einer Fehlerstelle,

Fig. 6 einen prinzipiellen Messaufbau zur zerstörungsfreien Prüfung eines Rohres,

5 Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Verarbeitung der empfangenen Signale,

10 Fig. 8 eine Prinzipdarstellung der Strahlenwege einer an der äußenen Oberfläche liegenden Fehlstelle und

15 Fig. 9 eine Prinzipdarstellung der Strahlenwege einer an der inneren Oberfläche liegenden Fehlstelle.

Fig. 1 zeigt rein schematisch eine Anordnung 10 zur zerstörungsfreien Prüfung eines Gegenstandes 12, welche im dargestellten Ausführungsbeispiel als Stahlplatte dargestellt ist, mittels einer von einem Prüfkopf 14 ausgehenden Ultraschall-Wellenfront 16, welche durch ein flüssiges Medium 18 wie Wasser in den Gegenstand 12 eingekoppelt wird. Durch die Prüfung sollen Fehlstellen 20 in der Struktur des Gegenstandes 12 erfasst werden.

20 Der Prüfkopf 14 umfasst eine Vielzahl von Sende-/Empfangselementen EL1 bis ELN, die jeweils vorzugsweise gleichzeitig oder phasenversetzt als Sendeelemente und vorzugsweise gleichzeitig als Empfangselemente geschaltet werden.

25 Fig. 2 zeigt anhand eines Graustufenbildes einen üblichen B-Scan einer äußenen Fehlstelle eines ebenen Gegenstandes, welcher mit einem Phased Array Transducer unter einem Einstrahlwinkel von  $\alpha = 18^\circ$  aufgenommen wurde. Die auf den Gegenstand 12 abgesendete Wellenfront wurde durch gleichzeitiges Einschalten sämtlicher Sendeelemente erzeugt.

30 Die einzelnen Empfangselemente EL1 – ELN sind über die horizontale Achse aufgetragen, wobei die von den einzelnen Empfangselementen empfangenen Signale entsprechend ihrer Laufzeit, die über eine vertikale Achse aufgetragen ist, in vertikaler Richtung nacheinander dargestellt sind.

Die Intensität der dargestellten Signale wird über ihre Helligkeit definiert. Aus dem B-Scan gemäß Fig. 2 ist zu erkennen, dass unterschiedliche Strukturen des Gegenstandes unterschiedliche Signalmuster erzeugen. So erzeugt die Oberfläche des Gegenstandes 12

5 Oberflächenechos OE, welche in Fig. 2 als schräg verlaufende durchgehende Linie dargestellt sind. Die den einzelnen Empfangselementen EL1 – ELN zugeordneten Fehlerechos FE1 – FE12, sind als horizontale Linien dargestellt. So werden beispielsweise von einem Empfangselement ELX die Fehlerechos FE1 bis FE4, und von weiter Empfangselementen ELX1, ELX2 die Fehlerechos FE5 bis FE8 bzw. die Fehlerechos FE 9 bis FE 12 dargestellt. Im oberen linken Bereich des B-Scans sind Interferenzechos IE erkennbar, die aufgrund von Interferenzen zwischen Wellenfronten der einzelnen Sendeelemente des Phase 10 Array Transducers entstehen.

Der in Fig. 2 dargestellte B-Scan zeigt weiter, dass Fehlerechos mehrerer Empfangselemente, wie beispielsweise die Fehlerechos FE2, FE5 und FE3, FE6, FE9 sowie FE4, FE7 und FE10, zu jeweils gleichen Laufzeiten empfangen werden. Die gleichen Laufzeiten beispielsweise der Fehlerechos FE2 und FE5 sowie Fehlerechos FE3 und FE6 sollen anhand der Fig. 3 erläutert werden.

20 In Fig. 3 ist der Aufbau gemäß Fig. 1 dargestellt, wobei Signalwege a bis i rein schematisch dargestellt sind. Die Dicke des Stahlbleches ist mit s bezeichnet und der Strahlengang innerhalb des Gegenstandes 12 mit t.

25 Es zeigt sich, dass sich die Laufzeit des Fehlerechos FE2 aus den Abschnitten  $d + 2t + e$  und die Laufzeit des Fehlerechos FE5 aus den Abschnitten bzw. Laufzeiten  $e + 2t + d$  jeweils zu einer identischen Laufzeit zusammensetzen. Ebenfalls sind die Laufzeiten des Fehlerechos FE3 und des Fehlerechos FE6 identisch, mit der Anmerkung, dass diese in unterschiedlichen Empfangselementen empfangen werden.

30 Die von einem Empfangselement ELX empfangenen Signale können ebenfalls in ihrer Amplitude über die Zeit dargestellt werden. Eine entsprechende Darstellung (A-Scan) ist in Fig. 4 gezeigt. Hierbei sind die einzelnen Echos OE, FE1 bis FE4 als Amplitudenausschläge zu unterschiedlichen Laufzeiten dargestellt. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren

werden die Amplitudenwerte der zu gleichen Laufzeiten empfangenen Signale beispielsweise FE2 und FE5, FE3, FE6, FE9, bzw. FE4, FE7 und FE10 entlang ihrer Laufzeit addiert, wobei das in Fig. 5 über die Zeit dargestellte Signal erhalten wird, welches eine Information über die Feldstelle 20 in dem Gegenstand 12 sehr deutlich durch Amplitudenerhöhung im Bereich einer Größenordnung kennzeichnet.

Da die von verschiedenen Elementen ELX, ELX1 bzw. ELX2 empfangenen Fehlerechos die gleiche Laufzeit aufweisen, addieren sich die Amplitudenwerte, so dass das Summensignal steigt. Da die in den A-Scans gemäß Fig. 4 enthaltenen Rauschsignale sich gegenseitig stochastisch auslöschen, wird das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert.

Fig. 6 zeigt einen Messaufbau 22 zur zerstörungsfreien Prüfung einer Rohrwandung 24 mittels entlang des Umfangs des Rohres angeordneter Prüfköpfe 26, 28, die eine entsprechend die eine an die Oberfläche des Rohres 24 angepasste, gekrümmte Oberfläche 30, 32, aufweisen, denen die Sende-/Empfangselemente EL1 bis ELN, wobei N beispielsweise 15 128 beträgt, jedes Element Sende-/Empfangselement EL1-ELN kann sowohl als Sender als auch als Empfänger geschaltet werden. Die räumliche Ausdehnung eines Elementes wird an die verwendete Ultraschall-Frequenz f angepasst, welche im Bereich zwischen 0,2 MHz  $\leq$  f  $\leq$  20 MHz, vorzugsweise f = 6 MHz liegt.

Die Prüfköpfe 26, 28, die auch als Phased Array Transducer bezeichnet werden, sind über Datenleitungen 34, 36 jeweils mit einer ersten Signalverarbeitungseinheit 38, 40 verbunden, welche die Sende-/Empfangselemente EL der Prüfköpfe 26, 28 ansteuert und die empfangenen Signale verstärkt und digitalisiert. Die Signalverarbeitungseinheiten 38, 40 sind 25 jeweils über eine Datenverbindung 42, 44, die beispielsweise als FSL (Fast Serial Link) ausgebildet ist, mit jeweils einer Signalauswertungseinheit 46, 48, verbunden. Des Weiteren umfasst die Schaltungsanordnung eine Schnittstelle 50 zur Verbindung mit einem externen Personal Computer 52 sowie eine Mikroprozessoreinheit 54 zur Verarbeitung und Auswertung (Sortieren, Markieren) der Informationen der Einheiten 46 und 48.

Fig. 7 zeigt ein detailliertes Blockschaltbild der Komponenten der Schaltungsanordnung 22 gemäß Fig. 6. Die Signalverarbeitungseinheit 38 umfasst eine Pulseinheit PE zur Ansteuerung der Sende-/Empfangselemente EL1 – EL128, die im vorliegenden Beispiel 128 Ele-

mente umfassen. Dabei werden die Sendeelemente nach festem Zeitmuster (Phasing) ange-  
steuert. Anschließend werden die Empfangselemente auf gleichzeitigen Empfang geschal-  
tet und über einen Multiplexer MUX werden sodann die empfangenen Analogsignale ent-  
sprechenden A/D-Wandlern AD, im vorliegenden Beispiel jeweils auf 32 A/D-Wandler

5 geleitet. Durch die A/D-Wandler AD werden die empfangenen Analogsignale digitalisiert  
und in einem Speicherelement SP als sogenanntes A-Bild bzw. A-Scan hinterlegt. Die in  
dem Speicherelement SP hinterlegten beispielsweise 32 A -Scans gemäß Fig. 4 werden  
sodann in einem Summierelement SUM erfindungsgemäß durch phasenstarre Addition der  
Amplitudenwerte zu dem in Fig. 5 dargestellten A-Scan entlang ihrer Laufzeit aufaddiert,  
10 wobei sich der Vorteil ergibt, dass sich die Amplitudenmaxima addieren, wodurch die  
Fehlstelle deutlich hervorgehoben wird und Rauschsignale gegenseitig aufgehoben wer-  
den.

15 Am Ausgang des Summierelementes SUM steht somit das in Fig. 5 dargestellte Signal als  
A-Scan zur Verfügung, das über ein Interface I der weiteren Signalauswertungseinrichtung  
46 zugeführt wird, die ebenfalls ein Interface I aufweist. In der Signalauswertungseinrich-  
tung 46 wird der B-Scan sodann ein oder mehreren Auswerterbausteinen F1, F2 zur weite-  
ren Signalverarbeitung zugeführt. Die Steuerung der einzelnen Komponenten der Schal-  
tungseinheiten 38, 46 erfolgt über einen digitalen Signalprozessor DSP, welcher über einen  
20 Buskoppler BK und die Schnittstelle 50 mit dem Personal Computer 52 sowie mit der Mik-  
roprozessoreinheit 54 verbunden ist. Die Ergebnisse der Signalverarbeitung werden auf  
einem Bildschirm dargestellt.

25 Um eine Datenreduktion vor Abspeicherung der an den A/D-Wandlern AD1 – AD32 an-  
liegenden Signale zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass diese vor Speicherung gefiltert,  
vorzugsweise Wavelet-gefiltert werden.

30 Das bisher beschriebene Verfahren dient allgemein zur schnellen und effektiven Erken-  
nung von Fehlstellen in einem Gegenstand. Da bei der Summation der Amplitudenwerte  
entlang gleicher Laufzeiten die Ortsinformation der Fehlerstelle verloren geht, sind weite-  
re Maßnahmen erforderlich, um eine Erkennung eines Außenfehlers zu ermöglichen. Hier-  
zu wird vorgeschlagen, dass die von einem Außenfehler des Gegenstandes bei der Be-  
schallung mit einer Ultraschallwelle reflektierten Punktwellensignale ausgewertet werden.

Fig. 8 zeigt rein schematisch die Strahlenwege bei einer Beschallung des Rohres 24, welches einen Fehlstelle AF in einer äußereren Oberfläche 56 aufweist. Fig. 9 zeigt die Strahlenwege bei Beschallung des Rohres 24, welches eine Fehlstelle IF an einer inneren Oberfläche 58 aufweist. Die von dem Außenfehler AF in Fig. 8 ausgehenden Punktwellensignale sind ebenfalls in dem in Fig. 2 dargestellten B-Scan erkennbar, nämlich als Fehlerechos FE1 bis FE4 und deren Interferenzmuster. Zur Erkennung eines Außenfehlers kann eine „schräge“ Addition, d. h. nicht entlang einer bestimmten Laufzeit, sondern senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte, so dass sich in dieser Richtung ein Amplitudenmaxima ergibt, das einen Hinweis auf einen Außenfehler AF enthält.

Um eine Aussage darüber zu treffen, ob ein Innen- oder Außenfehler vorliegt, erfolgt durch ein Koinzidenzverfahren beispielsweise in einem der Auswertebausteine F1, F2 eine Auswertung des Summensignals über die Amplitudenwerte gleicher Laufzeiten mit dem Summensignal der Amplitudenwerte in Richtung senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern der von den Punktwellensignalen empfangenen Amplitudenwerte, wobei dann ein Außenfehler vorliegt, wenn beide Signale eine Fehlerstelle zeigen. Sollte jedoch bei der phasenstarren Addition der Amplitudenwerte entlang einer Laufzeit eine Fehlerstelle erkannt werden, ohne dass jedoch eine Fehlerstelle bei der Addition der Amplitudenwerte senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern ermittelt wird, so liegt ein Innenfehler vor.

Als besondere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind zu erwähnen, dass die zur Auswertung der Fehlstellen erhaltenen Signale ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen und daher besser automatisch ausgewertet werden können. Durch die flächige Beschallung des zu prüfenden Gegenstandes aufgrund der Verwendung eines Prüfkopfes mit Phased Array – Technik, d. h. durch gleichzeitiges Aussenden einer Wellenfront und gleichzeitiges Einlesen der Signale wird ein erheblicher Zeitvorteil im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren mit sequenzieller Technik erreicht.

Auch erfolgt durch die phasenstarre Addition eine Datenreduktion, so dass die anschließende Signalverarbeitung ebenfalls beschleunigt und vereinfacht wird.

**Patentansprüche**

**Verfahren und Schaltungsanordnung zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden.**

5        **5. Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden.**

10        **1. Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen (12, 24) wie Rohren oder Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden, umfassend die Verfahrensschritte:**

- Aussenden einer kompletten Wellenfront auf zumindest einen zu prüfenden Abschnitt des Gegenstandes (12, 24) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
- Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),
- Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signale,
- Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement SP,

20        **dadurch gekennzeichnet,**  
**dass die Fehlstellen (20) durch eine phasenstarre Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit erkannt werden.**

25        **2. Verfahren nach Anspruch 1,**  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass zur Erkennung eines auf einer äußeren Oberfläche (54) des Gegenstandes (12, 24) liegenden Fehlstelle (Außenfehler) (20, AF) die von der Fehlstelle (20, AF) ausgehenden Punktwellensignale ausgewertet werden.**

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die auf der äußenen, d.h. dem Prüfkopf (14, 26, 28) zugewandten Oberfläche  
des Gegenstandes (12, 24), liegende Fehlstelle (AF) durch eine Addition derjenigen  
5 in dem Speicherbaustein (SP) hinterlegten Amplitudenwerte erfolgt, welche von  
von dem Außenfehler (AF) ausgehenden Punktwellensignalen abgeleitet werden.

10 4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Addition senkrecht oder im Wesentlichen Senkrecht zu Interferenzmustern  
der empfangenen Amplitudenwerte der Punktwellen der Außenfehler (AF) verläuft.

15 5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Außenfehler (AF) durch Vergleich des bei der phasenstarren Addition der  
gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit ermittelten Summensignals  
mit dem bei der Addition der Amplitudenwerte der Interferenzmuster ermittelten  
Summensignal erfolgt, wobei ein Außenfehler (AF) vorliegt, wenn beide Summen-  
signale eine Fehlstelle anzeigen (Koinzidenzverfahren).

20 6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die einzelnen Sendeelemente (EL1 – ELN) zur Einstellung eines an die Mess-  
bedingungen wie Fehlerart, Fehlergröße, Materialart, Materialform angepassten  
25 Einstrahlwinkels  $\alpha$  zeitverzögert angesteuert werden (phasing).

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Bestimmung des Fehlerortes eine laufzeitabhängige Amplitudenkorrektur  
30 des bei der Addition ermittelten Summensignals durchgeführt wird.

8. Verfahren zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die empfangenen Signale nach ihrer Digitalisierung zur Dateneduktion gefiltert, vorzugsweise wavelet-gefiltert werden.

5

9. Schaltungsanordnung (22) zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen wie Rohren, Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen der Struktur des Gegenstandes erzeugt werden, umfassend eine Signalerfassungseinheit (38) mit einem Pulserzeuger PE zum Ansteuern von Sende-/Empfangselemente EL1 - ELN zur Aussendung einer kompletten Wellenfront und zur Umschaltung der Sende-/Empfangselemente EL1 - EL2 auf Empfang, wobei ein Multiplexer MUX vorgesehen ist, über den an dem Empfangselementen anliegende Analogsignale A/D-Wandlern AD1 – ADN zuleitbar sind, deren Ausgänge mit einem Speicherelement SP zur Speicherung digitalisierter Signale verbunden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass die digitalisierten Signale in dem Speicherelement SP bezüglich ihrer Signalamplitude und Laufzeit gespeichert sind und dass dem Speicherelement SP ein Summierelement SUM zur phasenstarren Addition der in dem Speicherelement SP hinterlegten Amplitudenwerte nachgeschaltet ist und dass an einem Ausgang der Summenschaltung SUM ein bezüglich der Fehlstelle (20) auswertbares Signal anliegt.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Summierelements SUM vorzugsweise über ein Interface I mit einer Auswerteschaltung (46) verbunden ist, in der ein Ausgang des Summierelements SUM mit einer Signalverarbeitungsschaltung (46) verbunden ist, welches ein oder mehrere Auswerterbausteine (F1, F2) zur weiteren Bewertung und Auswertung des am Ausgang des Summierelements SUM anliegenden Signals aufweist.

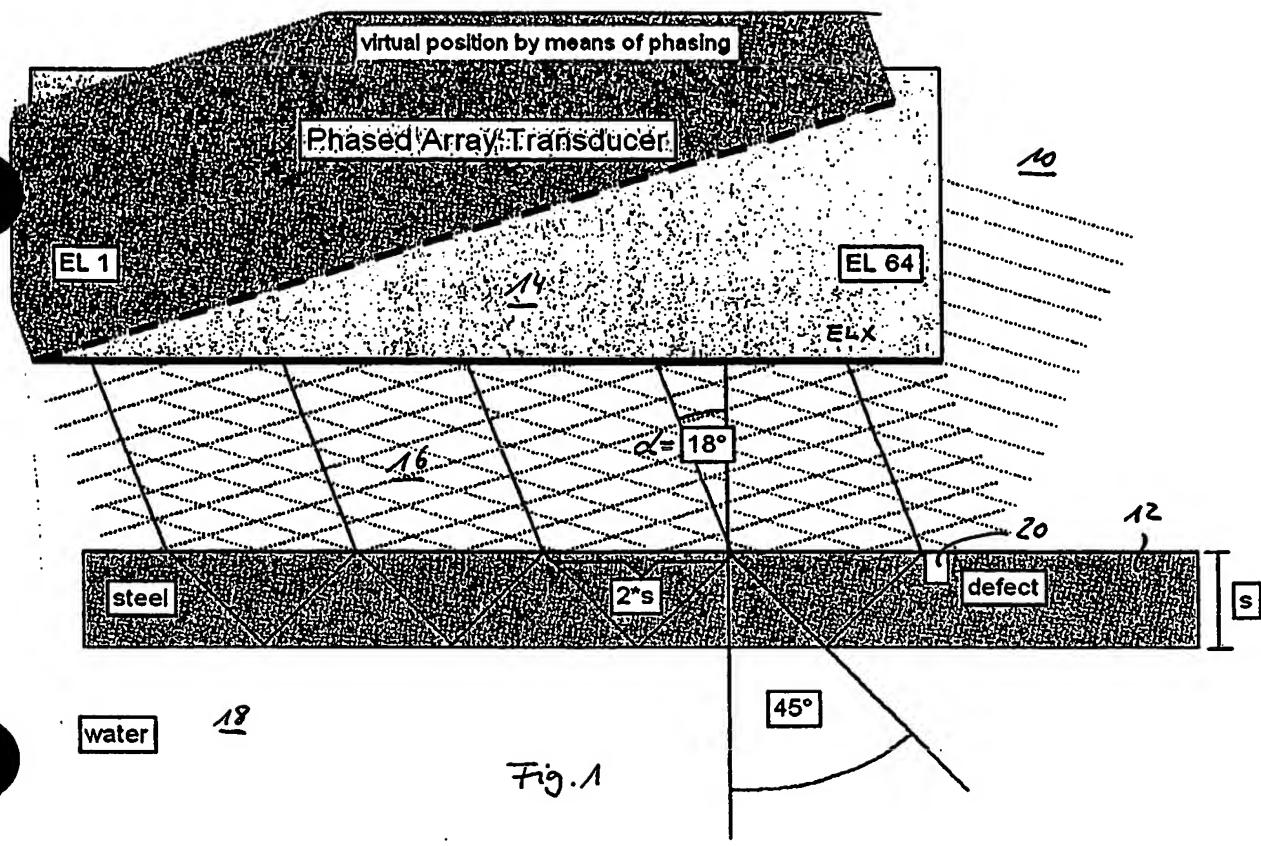
11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 oder 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Auswertebausteine (F1, F2) eine Koinzidenzschaltung zum Vergleich der  
Summensignale bei phasenstarrer Addition der Amplitudenwerte längs einer Laufzeit  
5 mit den Summensignalen bei Addition der Amplitudenwerte der Punktwellensignale  
von Außenfehlern aufweist.

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 bis 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
10 dass der Prüfkopf (14, 26, 28) als Phased Array Transducer ausgebildet ist.

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 bis 12,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) gleichzeitig oder phasenverschoben  
15 (phasing) ansteuerbar sind

14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 bis 13,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) als eine Einheit ausgebildet sind.

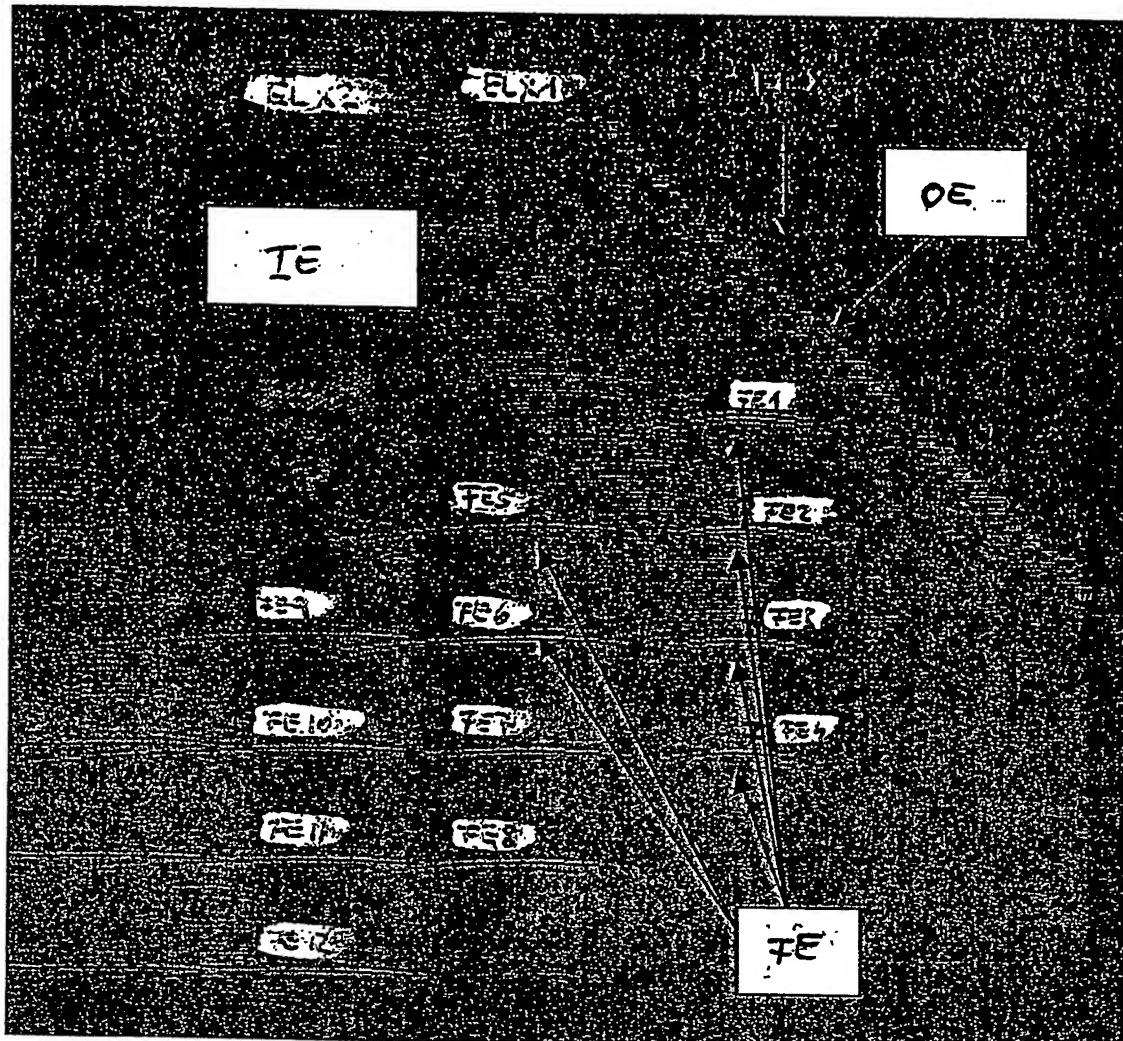
20 15. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 bis 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Sendeelemente und Empfangselemente als getrennte Einheiten ausgebildet  
sind.



40 $\mu$ s

time  
after  
pulse

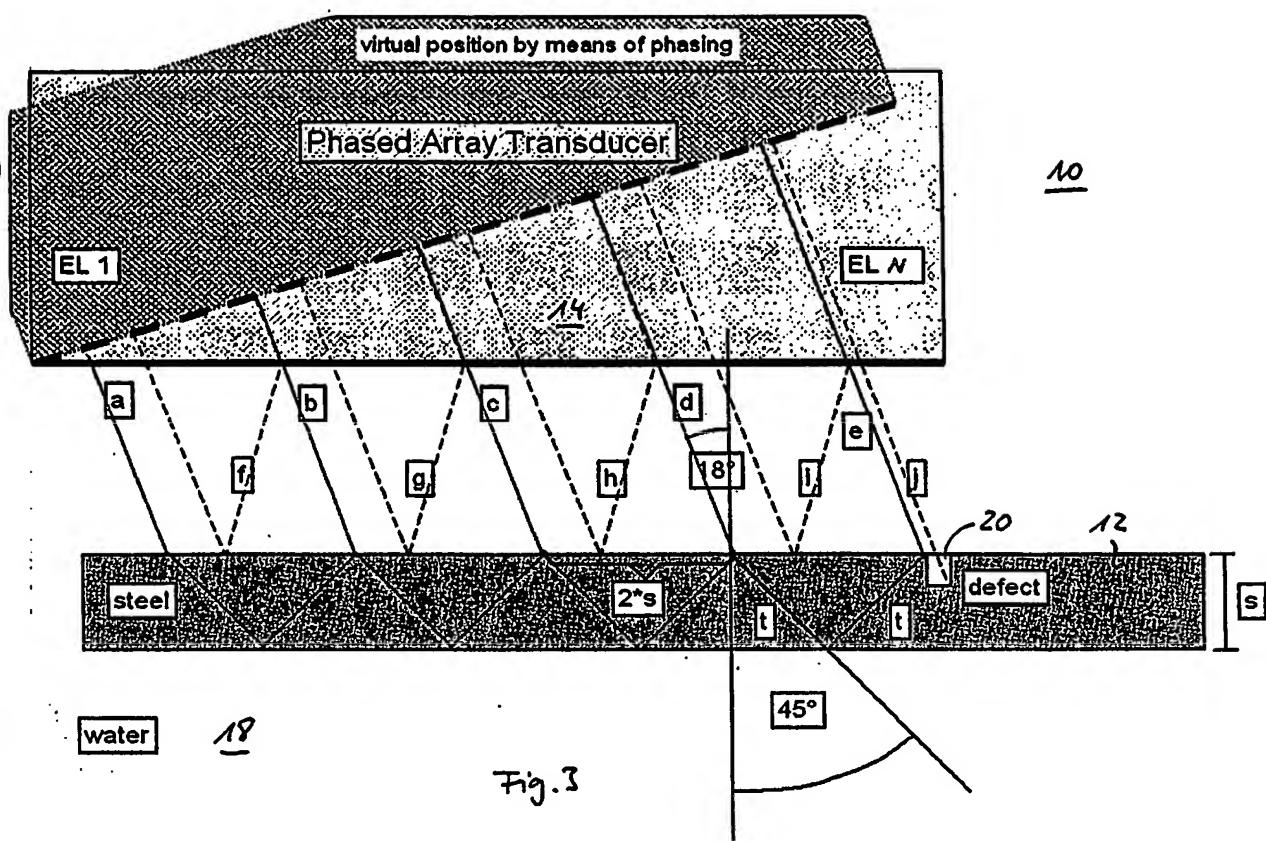
80 $\mu$ s



EL1

ELAV

Fig. 2



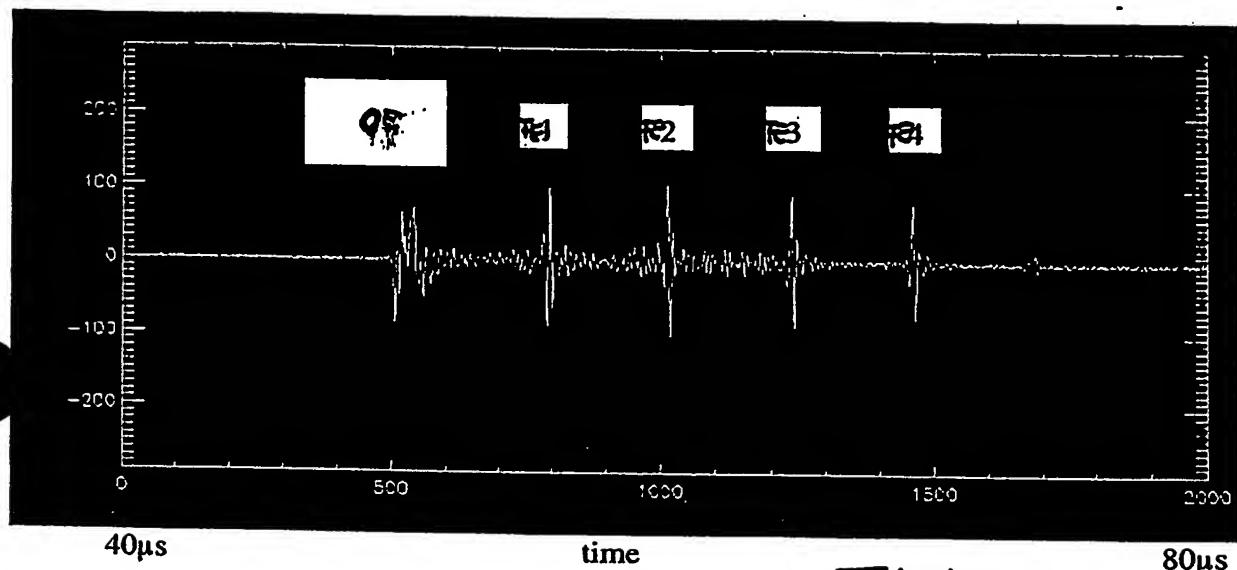


Fig. 4

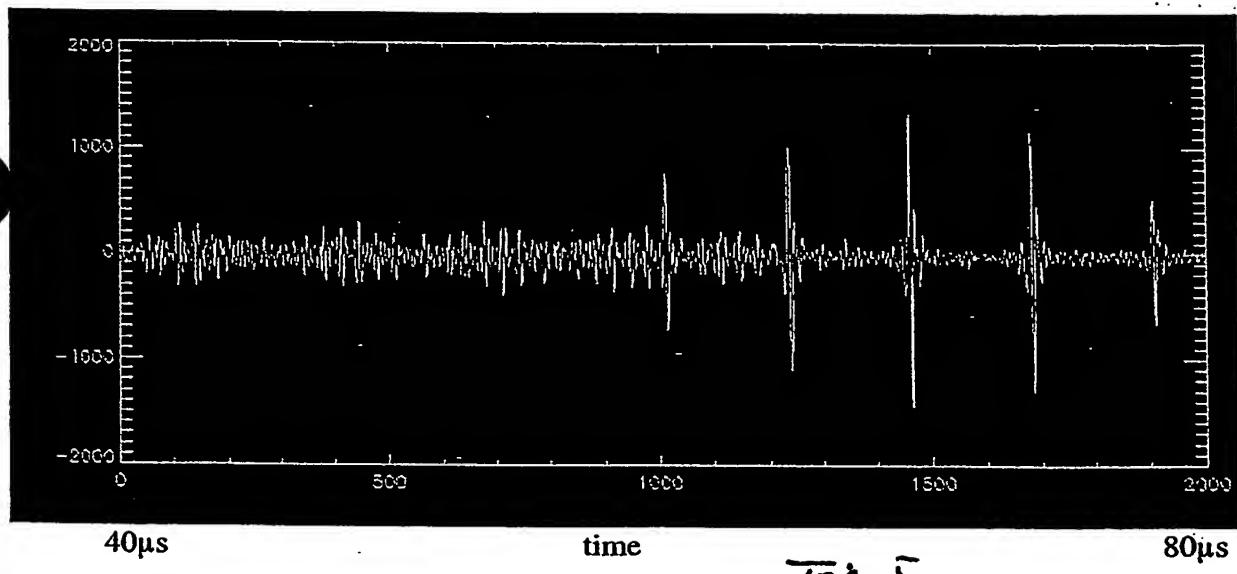
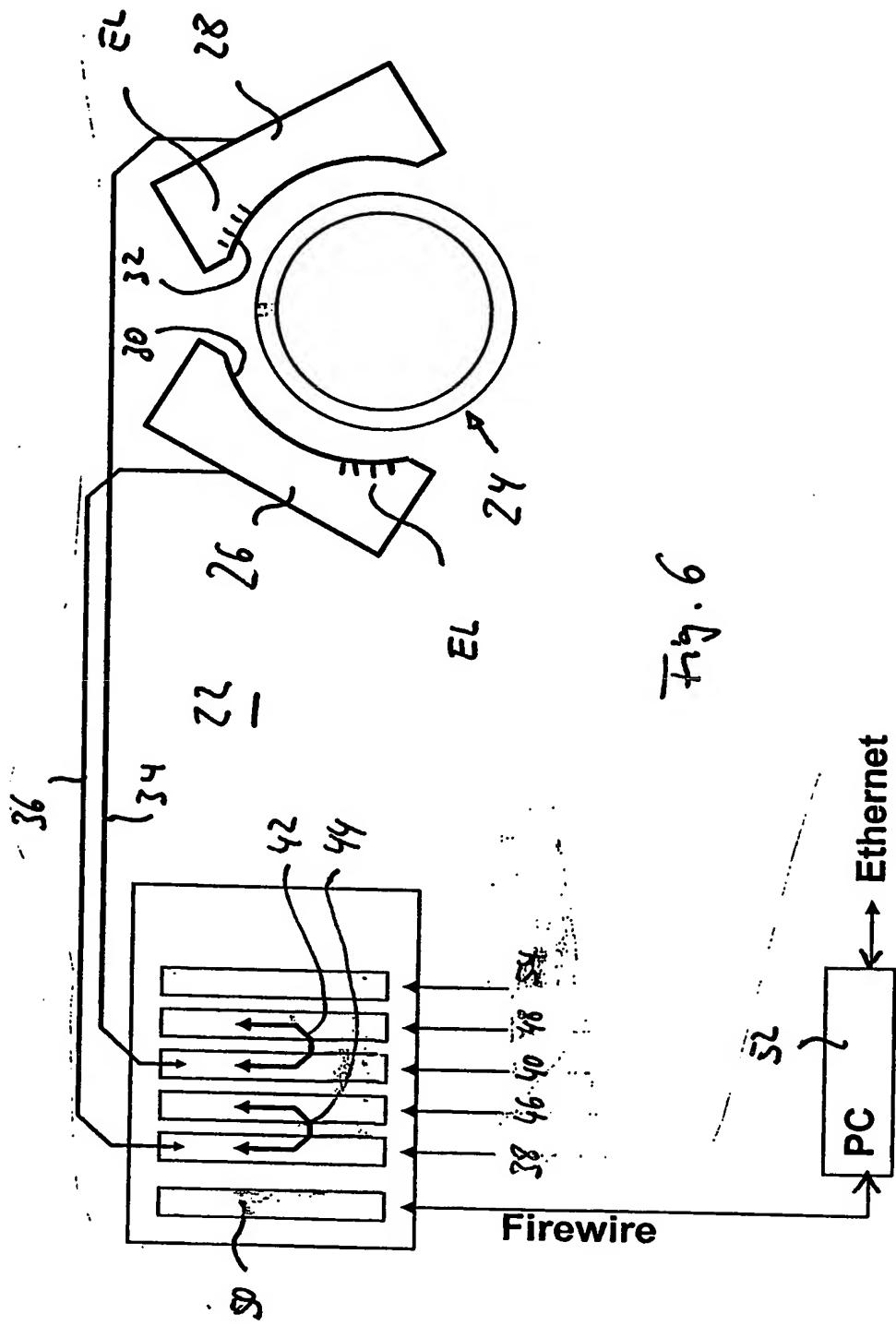


Fig. 5



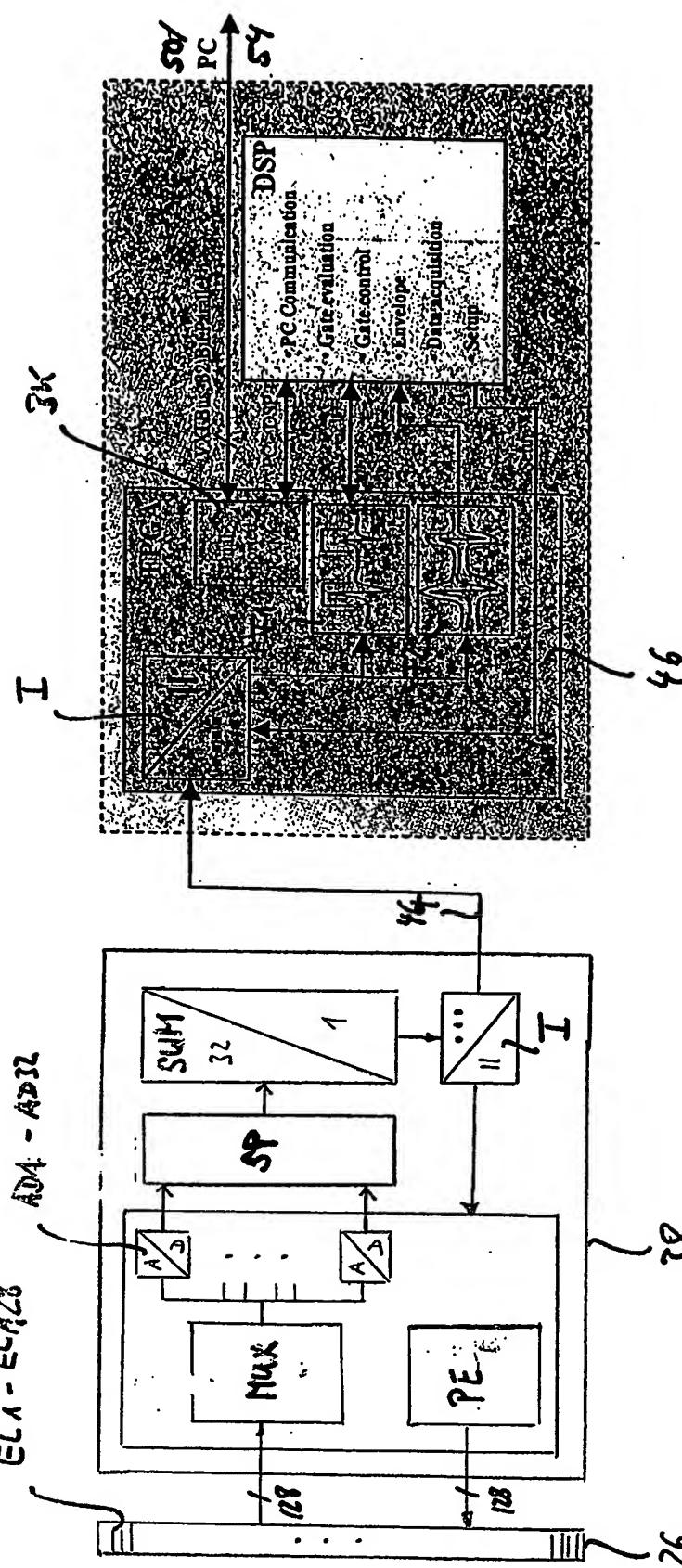


Fig. 7

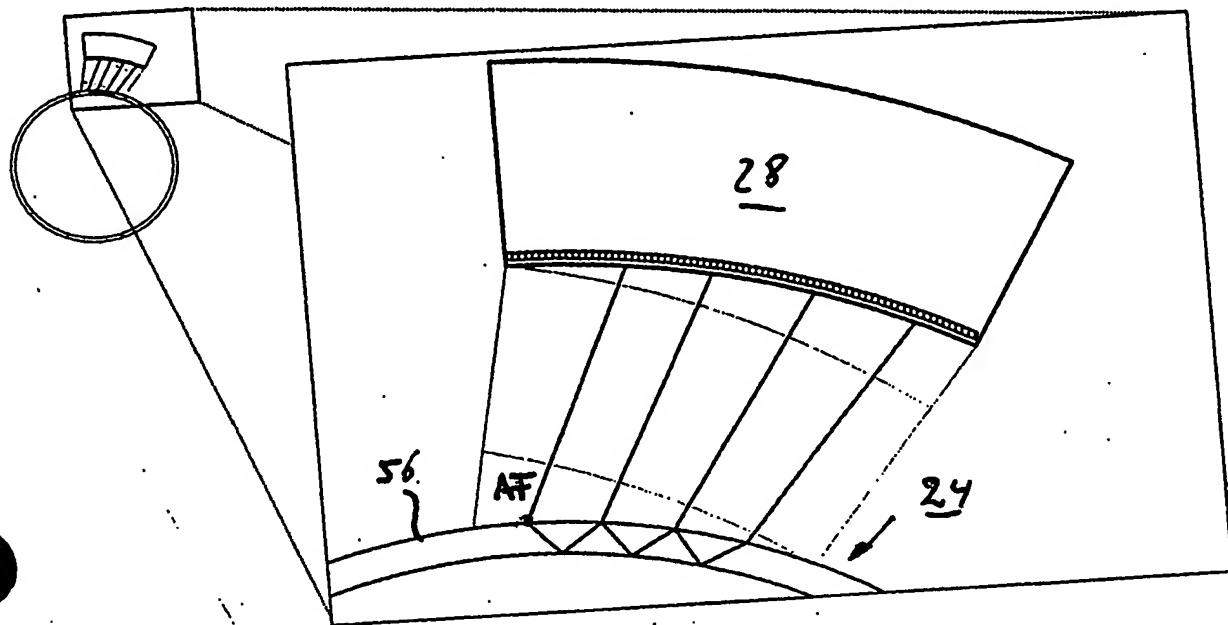


Fig.8

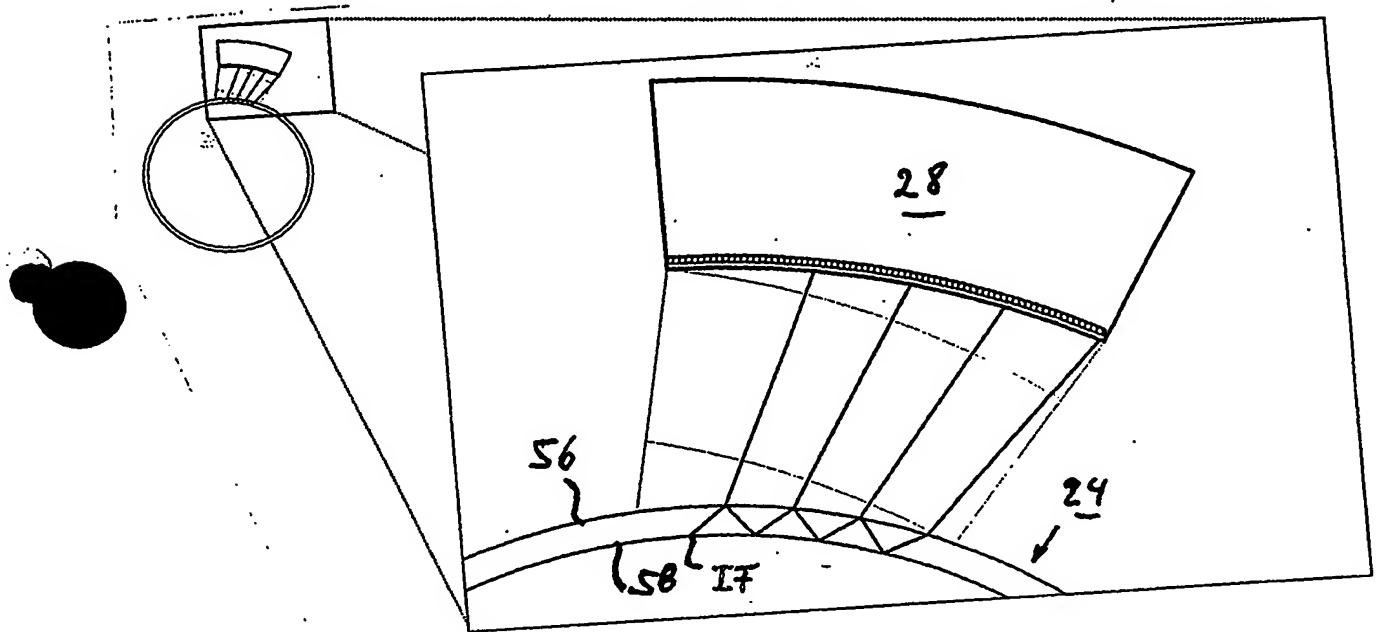


Fig.9

## Zusammenfassung

### Verfahren und Schaltungsanordnung zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden

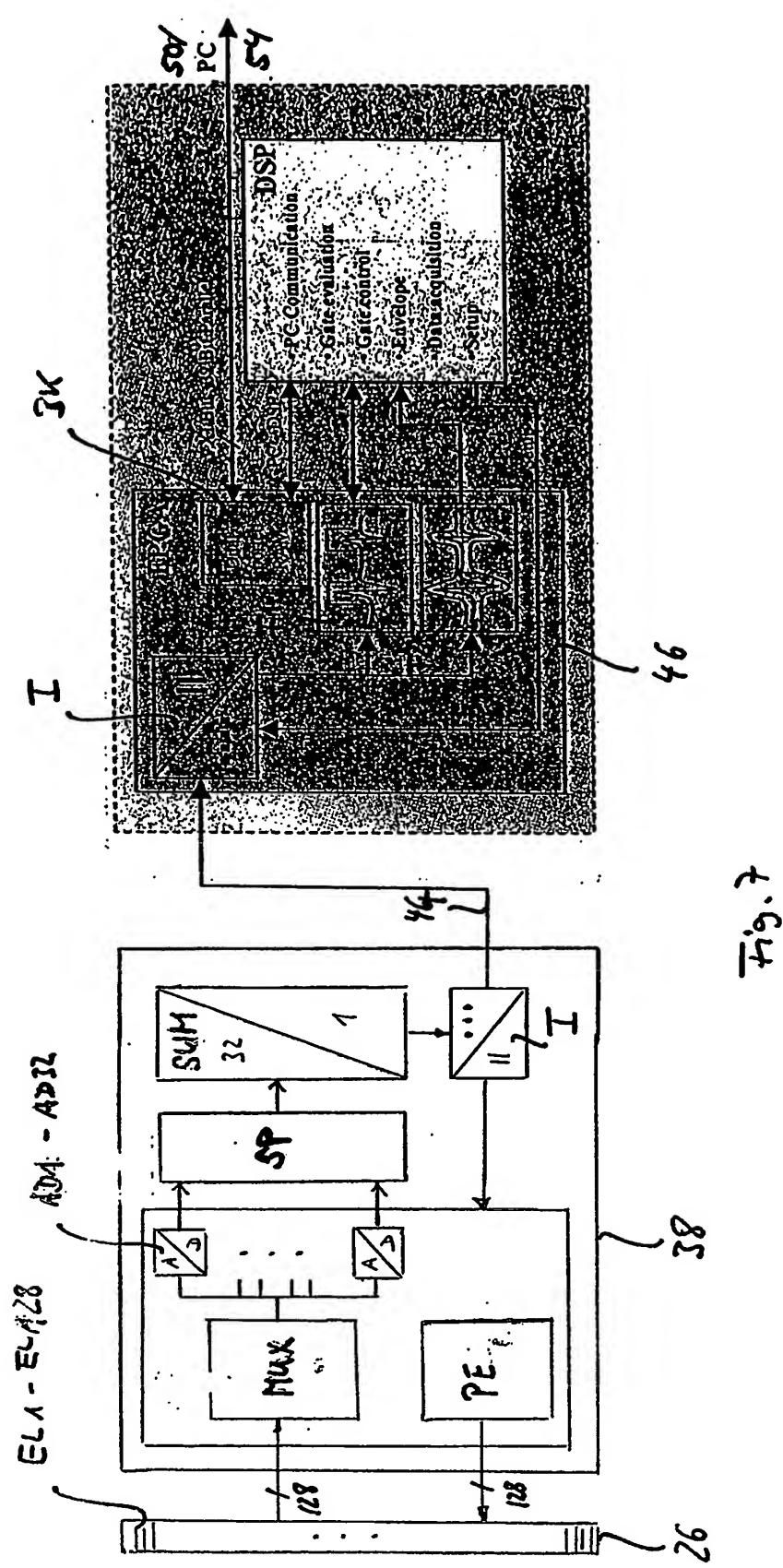
5 Prüfung von Gegenständen durch Reflexion von Ultraschallwellen erzeugt werden

10 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen (12, 24) wie Rohren oder Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden. Das Verfahren umfasst folgende Verfahrensschritte:

- 15 - Aussenden einer kompletten Wellenfront auf zumindest einen zu prüfenden Abschnitt des Gegenstandes (12, 24) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
- Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),
- Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signale,
- Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement SP.

20 Um zu erreichen, dass Fehlstellen der Struktur eines Gegenstandes bei hoher Geschwindigkeit und einem verbesserten Signal-/Rauschverhältnis erfasst werden können und dass sowohl das Verfahren als auch die Schaltungsanordnung gegen mögliche Dejustagen des Prüfkopfes unempfindlich ist, ist vorgesehen, dass die Fehlstellen (20) durch eine phasenstarre Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit erkannt werden. In der Schaltungsanordnung ist dazu ein Summierglied SUM vorgesehen.

30 Fig. 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**